



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift

(12) DE 198 51 265 A 1

(51) Int. Cl.⁷:
G 02 B 6/42

DE 198 51 265 A 1

- (21) Anmelder:
Harting Elektro-optische Bauteile GmbH & Co. KG,
31162 Bad Salzdetfurth, DE
- (24) Vertreter:
Prinz und Kollegen, 81241 München

- (21) Aktenzeichen: 198 51 265.1
(22) Anmeldetag: 6. 11. 1998
(43) Offenlegungstag: 18. 5. 2000

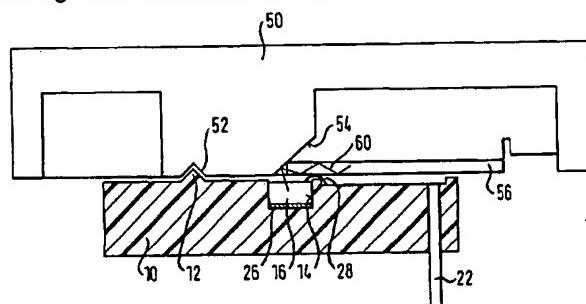
- (62) Teil in: 198 61 162.5
(72) Erfinder:
Kragl, Hans, Dr., 31199 Diekholzen, DE
(56) Entgegenhaltungen:
DE 44 36 204 C1
DE 195 47 941 A1
DE 43 13 493 A1
US 54 79 540 A
US 51 79 609 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Elektro-optische Baugruppe sowie Verfahren zur Herstellung einer solchen Baugruppe

- (57) Eine Baugruppe enthält eine Leiterplatte (10) und ein optisches Bauteil (54, 56, 58), wobei die Leiterplatte (10) mit mindestens einem elektro-optischen Bauteil (16), mindestens einer Leiterbahn (24) für den Anschluß des elektro-optischen Bauteils (16) sowie einer dreidimensionalen, mikrostrukturierten Justiergestaltung (12) versehen ist, relativ zu der das elektro-optische Bauteil (16) präzise angeordnet ist, und wobei eine dreidimensionale Positioniergestaltung (52) an dem optischen Bauteil (54, 56, 58) vorgesehen ist, die mit der Justiergestaltung (12) der Leiterplatte (10) derart zusammenwirkt, daß das optische Bauteil (54, 56, 58) mit dem elektro-optischen Bauteil (16) der Leiterplatte (10) präzise gekoppelt ist.



DE 198 51 265 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Baugruppe, die aus einer Leiterplatte mit elektro-optischem Bauteil und aus einem optischen Bauteil besteht. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Baugruppe.

Aus dem Gebiet der integrierten Optik sind Baugruppen bekannt, bei denen elektro-optische Bauteile, beispielsweise Laserdioden, LEDs und Photodetektoren, mit einem optischen Bauteil gekoppelt werden, beispielsweise einer Lichtleitfaser oder einem Wellenleiter. Zu diesem Zweck werden die elektro-optischen Bauteile an einem Substrat angeordnet, an dem auch das optische Bauteil angeordnet ist. Ein Beispiel für eine solche Baugruppe ist aus der deutschen Offenlegungsschrift 44 10 740 bekannt, bei der ein Photodetektor mit einer Lichtleitfaser gekoppelt ist. Der Photodetektor und die Lichtleitfaser sind in einem zweiteiligen Substrat aufgenommen, wobei in einem Substratteil ein Wellenleitergraben vorgesehen ist, der beim Verkleben der beiden Substratteile miteinander von dem verwendeten, optisch transparenten Klebstoff ausgefüllt wird, so daß ein der Photodetektor und die Lichtleitfaser koppelnder Wellenleiter gebildet ist.

Bei der Herstellung einer solchen Baugruppe treten insbesondere zwei Probleme auf. Zum einen läßt sich das elektro-optische Bauteil relativ zum optischen Bauteil nur mit großem Aufwand präzise positionieren, beispielsweise unter Verwendung von Führungsschrägen, die für die optimale Ausrichtung sorgen sollen. Beispiele für solche Gestaltungen sind aus den deutschen Offenlegungsschriften 44 01 219 und 42 32 608 bekannt. Zum anderen ergibt sich eine vergleichsweise hohe Ausschußrate, da das optische Element, das mit dem elektro-optischen Bauteil gekoppelt wird, im genannten Beispiel also der Wellenleiter, erst beim abschließenden Schritt des Verklebens der beiden Substratteile miteinander ausgebildet wird. Sollte der Wellenleiter fehlerhaft sein, bedeutet dies, daß auch der Photodetektor zum Ausschuß gehört, da er untrennbar mit der Baugruppe verbunden ist. Das Problem der hohen Ausschußrate wird dabei umso größer, je mehr Bauelemente miteinander verbunden werden müssen. Falls beispielsweise ein Prozeß, der aus 200 Einzelschritten besteht, zu einer Ausbeute von 80% führen soll, bedeutet dies, daß jeder Einzelschritt mit einer Ausbeute von 99,9% ausführbar sein muß. Aus diesem Grunde dürfte die als alternatives Herstellungsverfahren diskutierte monolithische Integration, also die Herstellung von Elektronik, Opto-Elektronik und Optik mit Wellenleitern in einem einzigen Materialsystem, zum Beispiel InP, die theoretisch eine sehr gute Kopplung der verwendeten Bauteile verspricht, noch für einige Zeit nicht nutzbar sein.

Ein zusätzliches Problem besteht in der Notwendigkeit, die erforderlichen elektrischen Anschlüsse des elektro-optischen Bauteils zu erzielen. Wenn das elektro-optische Bauteil in ein Substrat eingebettet ist, müssen Leiter oder ähnliches für eine Zuleitung vorgesehen werden.

Aus dem Stand der Technik ist ferner bekannt, elektro-optische Bauteile, insbesondere elektro-optische Halbleiter, an Leiterplatten anzutragen. Hierzu wird vorzugsweise die Lead-Frame-Technologie verwendet, mittels der ein elektrooptischer Chip mit einer Genauigkeit von etwa 50 µm auf der Leiterplatte angeordnet werden kann. Diese Genauigkeit ist jedoch für die Justage relativ zu einem optischen Wellenleiter, der Abmessungen in der Größenordnung bis herunter zu 1 µm haben kann, nicht ausreichend.

Die Erfindung schafft eine Baugruppe, bei der ein optisches Bauteil mit der gewünschten Genauigkeit relativ zu einem elektro-optischen Bauteil angeordnet ist. Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer sol-

chen Baugruppe, das sich durch eine hohe Ausbeute auszeichnet.

Eine erfindungsgemäße Baugruppe besteht aus einer Leiterplatte und einem optischen Bauteil, wobei die Leiterplatte mit mindestens einem elektro-optischen Bauteil, mindestens einer Leiterbahn für den Anschluß des elektro-optischen Bauteils sowie einer dreidimensionalen, mikrostrukturierten Justiergestaltung versehen ist, relativ zu der das elektro-optische Bauteil präzise angeordnet ist, und wobei eine dreidimensionale Positioniergestaltung an dem optischen Bauteil vorgesehen ist, die mit der Justiergestaltung der Leiterplatte derart zusammenwirkt, daß das optische Bauteil mit dem elektro-optischen Bauteil der Leiterplatte präzise gekoppelt ist. Die erfindungsgemäße Baugruppe besteht also aus zwei Unterbaugruppen, nämlich zum einen der Leiterplatte mit dem elektro-optischen Bauteil und zum anderen dem optischen Bauteil selbst. Diese sind für sich genommen einzeln funktionsfähig, so daß sie separat voneinander getestet werden können. Es kann also hinsichtlich der Leiterplatte überprüft werden, ob die Leiterbahnen für den Anschluß des elektro-optischen Bauteils, die Verbindung des elektro-optischen Bauteils mit den Leiterbahnen und schließlich das elektro-optische Bauteil selbst voll funktionsfähig sind. Hinsichtlich des optischen Bauteils kann überprüft werden, ob das optische Bauteil, beispielsweise ein Wellenleiter oder eine Lichtleitfaser, ordnungsgemäß funktioniert. Erst beim Zusammenfügen von Leiterplatte und optischem Bauteil wird das elektro-optische Bauteil mit dem optischen Bauteil gekoppelt, und zwar passiv über die Justiergestaltung und die Positioniergestaltung.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Leiterplatte ein Spritzgußteil ist, das partiell mit einer Metallisierung versehen ist. Auf diese Weise ergibt sich eine rationelle Fertigung der Leiterplatte, da sämtliche Gestaltungen, die zur präzisen Positionierung des elektro-optischen Bauteils erforderlich sind, beispielsweise eine mikrostrukturierte Vertiefung, sowie die Justiergestaltung, beispielsweise ein erhabenes Justierkreuz, in einfacher Weise von einer geeignet ausgestalteten Form abgeformt werden können. Bei diesem Verfahren muß der erhöhte Aufwand für die präzise Fertigung nur ein einziges Mal betrieben werden, nämlich für die Herstellung der Spritzgußform; die dort mit der erforderlichen Präzision ausgebildeten Gestaltungen werden dann in einfacher Weise mit derselben Präzision auf das Spritzgußteil abgeformt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß am Boden der Vertiefung, in der das elektro-optische Bauteil aufgenommen ist, ein Kühlkörper angeordnet ist. Dieser Kühlkörper dient dazu, die Verlustwärmе von insbesondere elektro-optischen Sendeelementen abzuführen. Der Kühlkörper kann beispielsweise aus einer Metallschicht bestehen, die gleichzeitig mit der Metallisierung der Leiterplatte ausgebildet wird. In diesem Fall kann der Kühlkörper als einer der Anschlüsse für das elektro-optische Bauteil verwendet werden, wenn diese mit dem Kühlkörper elektrisch leitend verbunden wird, beispielsweise durch Leitkleben.

Gemäß der bevorzugten Ausführungsform ist weiterhin vorgesehen, daß eine Preßpassung zwischen dem elektro-optischen Bauteil und der Vertiefung der Leiterplatte vorliegt. Die Preßpassung gewährleistet das präzise Anordnen des elektro-optischen Bauteils in der Vertiefung, ohne daß zusätzliche Maßnahmen zur Sicherung des elektro-optischen Bauteils erforderlich sind.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß das elektro-optische Bauteil eine rechteckige Grundfläche hat und die Vertiefung durch eine kreisförmige Aufnahmefräsböhrung gebildet ist, deren Abmessungen

kleiner sind als die Diagonalen der Grundfläche, und daß vier Justierbohrungen vorgesehen sind, die den Ecken des Bauteils zugeordnet sind und deren Schnittkanten mit der Wandung der Aufnahmefräsböhrung zur präzisen Ausrichtung des Bauteils dienen. Mittels der Aufnahmefräsböhrung kann die Vertiefung des elektro-optischen Bauteils in sehr präziser Weise mit einer ebenen Grundfläche ausgebildet werden. Die Justierbohrungen ermöglichen es dann, das elektro-optische Bauteil in einer präzisen Ausrichtung in der Aufnahmefräsböhrung zu halten.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß das elektro-optische Bauteil ein Licht ohne Vorzugsrichtung senkrecht zur Oberfläche abgebendes Bauteil ist und die Wandung der Vertiefung einen Parabolreflektor bildet, der das abgegebene Licht zum optischen Bauteil des Substrats hin bündelt. Elektro-optische Bauteile, die das Licht ohne eine Vorzugsrichtung abstrahlen, sind insbesondere LED-Chips. Das von dem LED-Chip abgegebene Licht, das außerhalb des Akzeptanzwinkels des zugeordneten optischen Bauteils abgestrahlt wird, ginge verloren, wenn nicht beispielsweise der Parabolreflektor zur Strahlformung verwendet wird. Ein solcher Parabolreflektor ersetzt eine Sammellinse, die alternativ eingesetzt werden könnte, jedoch einen sehr viel höheren Herstellungsaufwand bedeutet. Die reflektierende Schicht des Parabolreflektors kann auf besonders einfache Weise von der Metallisierung gebildet werden, die auf die Leiterplatte aufgebracht wird, um auch die Leiterbahnen auszubilden.

Als optisches Bauteil kann beispielsweise eine Lichtleitfaser verwendet werden, deren Außenkontur die Positioniergestaltung bildet, und die mit der Positioniergestaltung zusammenwirkende Justiergestaltung der Leiterplatte kann durch eine Führungsnot für die Lichtleitfaser gebildet sein, in der diese aufgenommen ist. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird also das optische Bauteil unmittelbar durch seine nach Art einer Mikrostruktur mit der erforderlichen Präzision ausgebildete Außengeometrie an der Justiergestaltung und damit relativ zu dem elektro-optischen Bau teil der Leiterplatte ausgerichtet, so daß die gewünschte Kopplung zwischen dem elektro-optischen und dem optischen Bauteil erhalten wird. Die Führungsnot ist vorzugsweise mit einem V-förmigen Querschnitt ausgebildet.

Alternativ kann das optische Bauteil an einem Substrat angeordnet sein, an dem die Positioniergestaltung ausgebildet ist, die mikrostrukturiert ist. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird das optische Bauteil also mittelbar unter Zwischenschaltung des Substrates relativ zu dem elektro-optischen Bauteil ausgerichtet. Dies empfiehlt sich insbesondere dann, wenn das optische Bauteil ein Wellenleiter oder ein Spiegel ist. In diesen Fällen benötigen die optischen Bauteile das Substrat quasi als Trägerstruktur. Der Wellenleiter wird nämlich üblicherweise in einem Wellenleitergraben im Substrat ausgebildet, und der Spiegel kann durch eine reflektierend gestaltete Fläche mit geeigneter geometrischer Struktur gebildet sein, so daß beispielsweise ein Hohlspiegel bereitgestellt ist, der in ähnlicher Weise wie ein Parabolreflektor das von dem elektro-optischen Bauteil bereitgestellte Licht zu einem weiteren optischen Bauteil hin bündelt, beispielsweise die Stirnfläche einer Lichtleitfaser.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Herstellen einer Baugruppe aus einer Leiterplatte, an der mindestens ein elektro-optisches Bauteil angeordnet ist, und einem optischen Bauteil, das mit dem elektro-optischen Bauteil gekoppelt ist, enthält die folgenden Schritte: Es wird ein Leiterplatten-Rohling bereitgestellt, wobei eine Vertiefung zur Aufnahme des elektro-optischen Bauteils und eine dreidimensionale Justiergestaltung gebildet werden. Dann wird der Leiterplatten-Rohling fertiggestellt, indem er partiell

metallisiert wird, so daß eine Leiterplatte gebildet ist. Anschließend wird das elektro-optische Bauteil in der Vertiefung angeordnet und an die Leiterbahn angeschlossen. Ferner wird separat von der Leiterplatte ein optisches Bauteil bereitgestellt, an dem eine dreidimensionale Positioniergestaltung vorgesehen ist. Schließlich werden die Leiterplatte und das optische Bauteil zusammengefügt, wobei die Justier- und die Positioniergestaltung ineinander eingreifen und zu einer präzisen Ausrichtung von Leiterplatte und optischem Bauteil relativ zueinander führen. Abschließend werden die Leiterplatte und optische Bauteil aneinander befestigt. Dieses Verfahren ermöglicht es, die Baugruppe besonders wirtschaftlich zu fertigen, da, wie dies vorzugsweise vorgesehen ist, sowohl das elektro-optische Bauteil 15 der Leiterplatte als auch das optische Bauteil vor dem Verbinden von Leiterplatte und optischem Bauteil separat auf ihre korrekte Funktion getestet werden können. Falls eine korrekte Funktion nicht feststellbar ist, gehört nur die entsprechende Unterbaugruppe zum Ausschuß, so daß die Gesamtbaugruppe des Verfahrens erheblich verbessert wird. 20 Die zur Kopplung zwischen dem elektro-optischen Bauteil und dem optischen Bauteil erforderliche genaue Ausrichtung der Bauteile relativ zueinander wird quasi automatisch passiv durch das Eingreifen von Justiergestaltung und Positioniergestaltung ineinander erhalten.

Wenn der Leiterplatten-Rohling spritzgegossen wird, wie dies gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen ist, werden die Vertiefung zur Aufnahme des elektro-optischen Bauteils und die dreidimensionale Justiergestaltung 30 von der Spritzgußform abgeformt, so daß sie ohne weitere Bearbeitungsschritte mit der erforderlichen Präzision erhalten werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Leiterplatte zum Anordnen des elektro-optischen Bauteils in der Vertiefung erwärmt wird. Die beim Erwärmen auftretende Wärmeausdehnung ermöglicht es, das Bauteil frei in die Vertiefung einzusetzen. Die beim Abkühlen auftretende Schrumpfung führt dann dazu, daß das elektro-optische Bauteil mit einer geeigneten Preßpassung sicher und zuverlässig in der Vertiefung gehalten ist, ohne daß weitere Schritte erforderlich sind. Alternativ ist auch möglich, die Leiterplatte zum Anordnen des elektro-optischen Bauteils in der Vertiefung derart zu biegen, daß sich die Vertiefung nach außen erweitert. Wenn die Leiterplatte dann mit eingesetztem elektro-optischen Bauteil wieder in ihre Ausgangsstellung zurückkehrt, legen sich die Wände der Vertiefung fest an das elektro-optische Bauteil an, das dann auf diese Weise fest in der Vertiefung gehalten wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Leiterplatte und optische Bauteil unmittelbar miteinander verklebt werden. Auf diese Weise werden die Leiterplatte und das optische Bauteil zuverlässig miteinander verbunden, wobei der Klebstoff zusätzlich dazu benutzt werden kann, einen eventuellen Freiraum zwischen den 55 einander zugeordneten Flächen des elektro-optischen Bauteils und des optischen Bauteils auszufüllen. Dies ist nicht unbedingt erforderlich, erhöht jedoch die Qualität der Kopplung zwischen beiden Bauteilen, wenn der Klebstoff aus hochtransparentem Material besteht und den Freiraum im Strahlengang zwischen dem elektro-optischen und dem optischen Bauteil vollständig ausfüllt.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist vorgesehen, daß das optische Bauteil an einem Substrat angebracht ist, an dem die Positioniergestaltung ausgebildet wird und 60 das mit der Leiterplatte verbunden wird. Hierbei ergeben sich mehr Freiheiten hinsichtlich der Art der Verbindung zwischen der Leiterplatte und dem optischen Bauteil. Alternativ zur oben angesprochenen Verklebung kann auch vor-

gesehen sein, daß die Leiterplatte und das Substrat miteinander verlötet werden. Hierzu kann insbesondere die Metallisierung verwendet werden, die auf die Leiterplatte aufgebracht wird, sowie eine gegebenenfalls auf das Substrat aufgebrachte Metallisierung, die dort beispielsweise als reflektierende Fläche nach Art eines Spiegels wirkt.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf verschiedene Ausführungsformen beschrieben, die in den beigefügten Zeichnungen dargestellt sind. In diesen zeigen:

Fig. 1 in einer schematischen Schnittansicht eine Baugruppe gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 in einer Draufsicht eine bei der Baugruppe von Fig. 1 verwendete Leiterplatte vor dem Bestücken mit dem elektro-optischen Bauteil;

Fig. 3 in einer Schnittansicht entlang der Linie III-III von Fig. 2 die Leiterplatte von Fig. 2 nach dem Bestücken mit einem elektro-optischen Bauteil;

Fig. 4 in einer Draufsicht ein Siliziummasterteil, das zur Herstellung des Leiterplatten-Rohlings von Fig. 2 verwendet wird;

Fig. 5 in einer Schnittansicht entlang der Linie V-V von Fig. 4 das Siliziummasterteil von Fig. 4;

Fig. 6 in einer Schnittansicht entsprechend der Ebene V-V von Fig. 4 ein Nickel-Werkstück, das durch Abformen des Siliziummasterteils von Fig. 5 erhalten wurde;

Fig. 7 in einer schematischen Draufsicht eine Vertiefung, die zur Aufnahme eines elektro-optischen Bauteils in einer Leiterplatte verwendet werden kann;

Fig. 8 eine Schnittansicht entlang der Linie VIII-VIII von Fig. 12;

Fig. 9 in einer schematischen Schnittansicht eine Baugruppe gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 10 in einer schematischen Schnittansicht eine Baugruppe gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 11 in einer schematischen Schnittansicht eine Baugruppe gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 12 in einer schematischen Schnittansicht eine Leiterplatte für eine Baugruppe gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 13a in einer schematischen Schnittansicht eine Baugruppe gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 13b in einer Draufsicht die Baugruppe von Fig. 13a;

Fig. 14 in einer schematischen Schnittansicht einen ersten Schritt zum Anordnen des elektro-optischen Bauteils in einer Vertiefung der Leiterplatte;

Fig. 15 in einer schematischen Schnittansicht einen zweiten Schritt zum Anordnen des elektro-optischen Bauteils in der Vertiefung der Leiterplatte; und

Fig. 16 in einer schematischen Schnittansicht einen alternativen zweiten Schritt zum Anordnen des elektro-optischen Bauteils in einer Vertiefung der Leiterplatte.

In Fig. 1 ist schematisch eine erfundungsgemäße Baugruppe gezeigt. Diese besteht aus einer Leiterplatte 10 und zwei optischen Bauteilen, hier einem Spiegel 54 und einem Wellenleiter 56, die an einem Substrat 50 ausgebildet sind.

Die Leiterplatte 10 (siehe auch die Fig. 2 und 3) wird bevorzugt in einem Abformverfahren, insbesondere in Spritzgusstechnik, hergestellt. Auf diese Weise wird auf der Oberfläche der Leiterplatte eine Justiergestaltung 12 abgeformt, die hier aus einem erhabenen Justierkreuz besteht. Ferner wird in ihrer Oberfläche eine Vertiefung 14 abgeformt, die zur Aufnahme eines elektro-optischen Bauteils 16 dient. Das elektro-optische Bauteil kann insbesondere ein elektro-

optischer Chip sein, beispielsweise eine Laserdiode, eine LED, ein VCSEL-Chip oder ein Photodetektor. Sowohl das Justierkreuz 12 als auch die Vertiefung 14 sind hinsichtlich ihrer geometrischen Form als auch ihrer Anordnung relativ zueinander präzise mikrostrukturiert. Dies bedeutet, daß eine gewünschte Geometrie mit einer sehr hohen Genauigkeit in der Größenordnung von 1 µm eingehalten wird.

Auf der Oberfläche der Leiterplatte 10 werden weiterhin zwei Nuten 18 abgeformt, die später zur Ausbildung von Leiterbahnen dienen. An einem Ende der Nuten 18 sind Bohrungen 20 zur Aufnahme von Kontaktstiften 22 vorgesehen.

Um ausgehend von dem in Fig. 2 gezeigten Leiterplatten-Rohling 10' eine fertige Leiterplatte zu erhalten, muß die Oberfläche des Leiterplatten-Rohlings 10' in den gewünschten Bereichen mit einer Metallisierung versehen werden. Zu diesem Zweck wird der Rohling zuerst plasmagereinigt, und anschließend wird die Oberfläche durch ein chemisches Verfahren oder ein Vakuumaufdampfverfahren metallisiert. Die auf diese Weise auf der Oberfläche ausgebildete Metallisierung ist sehr dünn, so daß sie problemlos auf allen hochstehenden Bereichen, also allen Bereichen abgesehen von der Vertiefung 14 und den Gräben 18, abpoliert oder abgeschliffen werden kann. Anschließend wird die dünne Metallschicht durch ein chemisches oder ein galvanisches Verfahren verstärkt, wobei vorher die Kontaktstifte 22 in den Bohrungen 20 angeordnet wurden. Auf diese Weise wird in jeder Nut 18 eine Leiterbahn 24 ausgebildet, die mit dem entsprechenden Kontaktstift 22 in elektrischer Verbindung steht. Zusätzlich kann am Boden der Vertiefung 14 eine Metallschicht 26 ausgebildet werden, die als Kühlkörper für das später in die Vertiefung 14 eingesetzte elektro-optische Bauteil dient. Der Kühlkörper erstreckt sich in einen Ansatz 14a der Vertiefung hinein, so daß eine größere Fläche für die Kühlwirkung zur Verfügung steht. Für die Wirkung als Kühlkörper ist es erforderlich, die Metallschicht mit einer größeren Dicke auszuführen als für die Bildung der Leiterbahnen 24. Zu diesem Zweck können unterschiedliche Spannungen an die Metallisierungen in den Nuten 18 bzw. am Boden der Vertiefung 14 angelegt werden, um unterschiedliche Materialmengen dort abzuscheiden.

Abschließend wird das elektro-optische Bauteil 16 in die Vertiefung 14 eingesetzt und durch je einen Bonddraht 28 mit den beiden Leiterbahnen 24 verbunden. Es ist auch möglich, den elektrischen Anschluß durch Leitkleben zu erhalten.

Alternativ kann auch der Kühlkörper 26 als ein elektrischer Anschluß des elektro-optischen Bauteils 16 verwendet werden. In diesem Fall wird die Unterseite des Bauteils 16 mit dem Kühlkörper 26 durch Verlöten oder Leitkleben elektrisch leitend verbunden. Dann ist nur ein Bonddraht 18 erforderlich, um den zweiten Anschluß des elektro-optischen Bauteils über eine der Leiterbahnen 18 auszubilden. Unabhängig von der Art des elektrischen Anschlusses des elektro-optischen Bauteils muß eine gut wärmeleitende Verbindung mit dem Kühlkörper 26 gewährleistet werden.

Das elektro-optische Bauteil 16 ist nun präzise relativ zum Justierkreuz 12 angeordnet.

Soll auf der Leiterplatte auch eine elektrische Signalverarbeitung vorgenommen werden, können in gleicher Weise zusätzlich Halbleiterchips mit rein elektronischer Funktion wie Treiber oder Vorverstärker und andere Elektronikkomponenten eingesetzt und angeschlossen werden. Für rein elektronische Chips ist es allerdings nicht erforderlich, diese mit der Genauigkeit relativ zum Justierelement anzurufen, mit der der elektro-optische Chip angeordnet wurde.

Am Substrat 50 ist eine Positioniergestaltung 52 ausgebildet, die aus einer zur Justiergestaltung 12 der Leiterplatte in-

versen geometrischen Struktur besteht, hier also aus einem vertieft ausgebildeten Justierkreuz. Das Substrat 50 ist ferner mit den beiden oben kurz angesprochenen optischen Bauteilen Spiegel 54 und Wellenleiter 56 versehen. Der Wellenleiter kann durch bekannte Verfahren der Mikrostrukturtechnik ausgebildet werden, und der Spiegel 54 kann von einer auf eine geneigte Fläche des Substrates aufgebrachten Metallisierung gebildet sein.

Die Positioniergestaltung 52 ist in gleicher Weise wie die Justiergestaltung 12 mikrostrukturiert, und die beiden optischen Bauteile 54 und 56 des Substrats sind relativ zur Positioniergestaltung präzise angeordnet.

Die Baugruppe wird dann erhalten, indem die Leiterplatte 10 und das Substrat 50 zusammengefügt werden. Dabei kommt es aufgrund eines Eingreifens von Justiergestaltung 12 und Positioniergestaltung 52 ineinander zu einer präzisen Ausrichtung von Leiterplatte und Substrat und somit der an diesen angebrachten Bauteile relativ zueinander. Das elektro-optische Bauteil 16 der Leiterplatte befindet sich somit in der Stellung, die für eine optische Kopplung mit dem Spiegel 54 und dem Wellenleiter 56 erforderlich ist. Dies ist durch einen schematisch dargestellten Strahlengang 60 angedeutet.

Abschließend werden die Leiterplatte 10 und das Substrat 50 miteinander verbunden. Dies kann beispielsweise durch Verlöten erfolgen, wobei dazu vorteilhafterweise metallisierte Bereiche an der Leiterplatte 10 und dem Substrat 50 verwendet werden. Vorzugsweise werden die Leiterplatte und das Substrat miteinander verklebt, wobei bei geeigneter Wahl des Klebstoffs der Freiraum zwischen dem elektro-optischen Bauteil der Leiterplatte und dem optischen Bauteil des Substrates im Bereich des Strahlengangs zwischen den beiden Bauteilen vollständig mit einem hochtransparenten Klebstoff ausgefüllt werden kann, um die optische Kopplung zu verbessern.

Da der in Fig. 2 gezeigte Leiterplatten-Rohling 10' gleichzeitig erhabene und vertiefte Strukturen trägt, kann das Werkzeug zu seiner Herstellung nicht durch die auf dem Gebiet der integrierten Optik weit verbreitete Mikrostrukturtechnik hergestellt werden, da diese in der Regel keinen Materialauftrag ermöglicht. Es muß daher auf die Technik des galvanischen Umkopierens zurückgegriffen werden, mit der erhabene und vertiefte Strukturen ausgebildet werden können. Zusätzlich besteht das Problem, die Vertiefung 14 in der Leiterplatte mit senkrechten Wänden ausbilden zu müssen. Dies ist mit den meisten verfügbaren Technologien nicht machbar, abgesehen vom LIGA-Verfahren, was jedoch sehr teuer ist.

In den Fig. 4 bis 6 ist dargestellt, wie das Werkzeug zum Abformen des Leiterplatten-Rohlings erhalten werden kann. In Fig. 4 ist ein Siliziummasterteil 10" gezeigt, dessen zum Leiterplatten-Rohling 10' inverse Oberfläche mit Mitteln der Silizium-Mikromechanik ausgebildet wurde. Das auf dem Leiterplatten-Rohling 10' erhaben ausgebildete Justierkreuz 12 wird als vertieftes Justierkreuz 12" ausgebildet (durch KOH-Ätzung), und die am Leiterplatten-Rohling 10' vertieft ausgebildeten Nuten 18 für die Leiterbahnen werden lokal erhaben ausgebildet, indem die außenliegenden Randbereiche der vertieften Strukturen durch RIE-Abätzung entfernt werden. In der Schnittansicht entlang der Ebene V-V von Fig. 4 ist daher zu sehen, daß die außenliegenden Randbereiche der am Leiterplatten-Rohling 10' auszubildenden Vertiefung 14 weggeätzt wurden, so daß die später der Vertiefung 14 entsprechenden Bereiche 14" erhaben erscheinen, und zwar gegenüber der lokalen Umgebung.

Das Siliziummasterteil 10" wird nun galvanisch einfach (oder ungeradzahlig oft) umkopiert, so daß das in Fig. 6 gezeigte Werkzeug 10'" aus Nickel entsteht, das erster, dritter,

... Generation ist. Dieses Werkzeug kann nun mit einer NC-Bohr- und Fräsmaschine in der gewünschten Weise strukturiert werden. In den Fig. 7 und 8 ist ein Beispiel für die Vertiefung 14 zur Aufnahme des elektro-optischen Bauteils gezeigt. Die Vertiefung 14 wird durch eine große Aufnahmebohrung gebildet, die als Fräsböhrung mit gerader Bodenfläche bis zu einem Durchmesser von ca. 300 µm derzeit technisch realisierbar ist. Die auf diese Weise gebildete zylindrische Wandung 14' hat einen Durchmesser, der kleiner ist als eine Diagonale des elektro-optischen Bauteils, das später in der Vertiefung 14 aufgenommen werden soll. An den Stellen, an denen später die Ecken des elektro-optischen Bauteils zu liegen kommen, wird jeweils eine Justierbohrung mit einem Durchmesser ausgebildet, der kleiner ist als der Durchmesser der Aufnahmebohrung und insbesondere Wert von unter 100 µm haben kann. Die Justierbohrungen und die Aufnahmebohrung überlappen sich, so daß sich auch die Wandungen 14" der Justierbohrungen mit der Wandung 14' der Aufnahmebohrungen schneiden. Die dabei entstehenden, insgesamt acht Schnittkanten dienen zur präzisen Ausrichtung des elektro-optischen Bauteils in der Vertiefung 14, indem jeweils zwei Schnittkanten auf der einen und der anderen Seite jeder Ecke des elektro-optischen Bauteils angreifen.

In Fig. 8 ist sehr gut die ebene Grundfläche zu sehen, die auf diese Weise ausgebildet wird und später zur präzisen Anordnung des elektro-optischen Bauteils in der Vertiefung dient. In Fig. 7 sind mit dem Bezugssymbol 16' die Ränder des in der Vertiefung 14 aufgenommenen Bauteils angedeutet. Hier ist beispielhaft ein Bauteil mit quadratischer Grundfläche gezeigt; in gleicher Weise könnte auch ein Bauteil mit allgemein rechteckiger Grundfläche verwendet werden. In diesem Fall müßte nur die Aufnahmebohrung mit einer langlochähnlichen Form ausgebildet werden.

In Fig. 9 ist eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe gezeigt. Hier werden zwei Substrate 50 verwendet, wobei eines einen Spiegel 54 und das andere einen Wellenleiter 56 trägt. Jedes Substrat ist mit einer Positioniergestaltung 52 versehen, so daß die beiden optischen Bauteile 54, 56 optimal ausgerichtet werden und das elektro-optische Bauteil 16 durch Stirnflächenkopplung über den Spiegel 54 mit dem Wellenleiter 56 verbunden wird.

In Fig. 10 ist eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe gezeigt. Hier wird als optisches Bauteil zum einen ein Spiegel 54 eingesetzt, der durch eine metallisierte Fläche des Substrates 50 gebildet ist. Da es sich bei dieser Ausführungsform beim Substrat 50 um kein integriert-optisches Substrat handelt, kann das Substrat 50 beispielsweise als Spritzgußteil mit der erforderlichen Präzision hergestellt werden.

Zum anderen wird als optisches Bauteil eine Lichtleiterfaser 58 eingesetzt, die über den Spiegel 54 mit dem elektro-optischen Bauteil 16 durch Stirnflächenkopplung gekoppelt ist. Die Lichtleiterfaser 58 ist in einer Führungsnuß in der Leiterplatte aufgenommen. Dabei dient die Führungsnuß als Justiergestaltung, und die Außenkontur der Lichtleiterfaser 55 dient als Positioniergestaltung, die im Zusammenwirken mit der Justiergestaltung die Lichtleiterfaser relativ zum Spiegel 54 und dem elektro-optischen Bauteil 16 präzise ausrichtet.

In Fig. 11 ist eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Baugruppe gezeigt. Bei dieser Ausführungsform ist der Spiegel 54 am Substrat 50 als Hohlspiegel ausgebildet, so daß er zur Strahlformung verwendet werden kann. Dies ist dann vorteilhaft, wenn das verwendete elektro-optische Bauteil 16 Licht ohne Vorzugsrichtung senkrecht zur Oberfläche abstrahlt, wie dies beispielsweise bei einem LED-Chip der Fall ist. Die zur Herstellung des Spie-

gels 54 erforderliche gekrümmte Fläche am Substrat 50 kann beispielsweise durch Abformen in einem Spritzgußverfahren erzielt werden.

In Fig. 12 ist eine Leiterplatte für eine Baugruppe gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Bei dieser Ausführungsform wird zur Strahlformung ein parabolförmiger Reflektor 32 verwendet, der durch die geeignet geformte Wandung der Vertiefung 14 gebildet ist, in die das elektro-optische Bauteil 16 eingesetzt ist. Die parabolförmige Oberfläche kann leicht durch Verwendung eines entsprechend geschliffenen Fräzers zur Nachbearbeitung der Fräsböhrung erzielt werden, wie sie grundsätzlich aus den Fig. 7 und 8 bekannt ist. Die reflektierende Beschichtung des Reflektors 32 kann mittels der Metallisierung erzielt werden, die zur Herstellung der Leiterbahnen 24 aufgebracht wird. Zu beachten ist hierbei, daß die zum Anschließen des elektro-optischen Bauteils 26 verwendeten Bonddrähte 28 sorgfältig angeordnet werden müssen, um einen Kurzschluß zu verhindern. Auch bei dieser Ausführungsform ist das elektro-optische Bauteil 16 mit einem Kühlkörper 26 verklebt, der am Boden der Vertiefung 14 ausgebildet ist.

In den Fig. 13a und 13b ist eine Baugruppe gemäß einer sechsten Ausführungsform gezeigt. Bei dieser Ausführungsform ist in die Vertiefung 14 als elektro-optisches Bauteil eine Kantenemitter-Laserdiode 16 eingesetzt. Diese ist unmittelbar, also ohne dazwischengeschaltete Spiegel, etc. mit dem optischen Bauteil gekoppelt, das hier als Lichtleitfaser 58 ausgestaltet ist. Als Justiergestaltung dient eine Führungsnut 12 mit V-förmigem Querschnitt. Als Positioniergestaltung dient die Außenkontur 52 der Lichtleitfaser 58, die mit der erforderlichen Präzision geformt ist, um die erforderliche Ausrichtung relativ zur Kantenemitter-LD zu erhalten.

In den Fig. 14 bis 16 sind Verfahrensschritte gezeigt, wie das elektro-optische Bauteil 16 sicher und zuverlässig in der Vertiefung 14 der Leiterplatte 10 aufgenommen werden kann. In Fig. 14 sind die Leiterplatte 10 und das elektro-optische Bauteil 16 im Ausgangszustand gezeigt. Die Abmessungen der Vertiefung 14 sind geringfügig kleiner als die Abmessungen des elektro-optischen Bauteils 16.

In Fig. 15 ist die Leiterplatte 10 von ihrer Ausgangstemperatur, die beispielsweise 20°C betragen kann, auf eine Temperatur von beispielsweise 100°C erwärmt. Die dabei auftretende Wärmeausdehnung sorgt dafür, daß die Abmessungen der Vertiefung 14 zunehmen, so daß das elektro-optische Bauteil nunmehr problemlos in die Vertiefung eingesetzt werden kann. Wenn die Leiterplatte 10 wieder auf ihre Ausgangstemperatur abgekühlt ist, haben sich aufgrund der dabei auftretenden Materialschrumpfung die Wände der Vertiefung 14 an das elektro-optische Bauteil 16 angelegt, so daß dieses mit einer Preßpassung zuverlässig in der Vertiefung 14 gehalten ist. Es sind somit keine weiteren Maßnahmen erforderlich, um das elektro-optische Bauteil an der Leiterplatte 10 zu befestigen.

In Fig. 16 ist die Leiterplatte in einem geringfügig gebogenen Zustand gezeigt. Dabei weitet sich die Vertiefung 14 auf, so daß das elektro-optische Bauteil 16 nunmehr in diese eingesetzt werden kann. Nachdem die Leiterplatte 10 elastisch in ihren Ausgangszustand zurückgekehrt ist, ist das elektro-optische Bauteil 16 durch eine Preßpassung in der Vertiefung 14 gehalten. Diese Art der Anbringung ist jedoch nur dann geeignet, wenn die Leiterplatte 10 eine ausreichende Elastizität aufweist.

Ein wichtiges Merkmal, das allen gezeigten Ausführungsformen gemeinsam ist, liegt darin, daß sowohl die Leiterplatte 10 mit den an ihr angeordneten Bauteilen, insbesondere dem elektro-optischen Bauteil 16, als auch das opti-

sche Bauteil gegebenenfalls mit dem Substrat 50, an dem es angebracht ist, separate Unterbaugruppen bilden, die unabhängig voneinander auf korrekte Funktion getestet werden können. Dies bedeutet, daß im Falle einer Fehlfunktion einzelner Teile nur die entsprechende Unterbaugruppe zum Ausschuß gehört und nicht die gesamte Baugruppe.

Gemäß einer nicht gezeigten Weiterbildung der Erfindung ist es möglich, das Substrat als Stecker auszubilden, der die optischen Bauteile beispielsweise in der Form von Lichtleitfasern trägt und auf die geeignet strukturierte Leiterplatte aufgesteckt werden kann.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß auf der Fläche der Leiterplatte zusätzlich zu den Justiergestaltung weitere Raststrukturen für unterschiedliche Bauteile vorgesehen sein können, beispielsweise V-förmige Nuten, so daß auf der Leiterplatte der präzise Aufbau von stoßgekoppelten integriert-optischen Bauteilen, von Faser- und Faserbändchensteckern oder von Faser- und Faserbändchen möglich ist.

Patentansprüche

1. Baugruppe aus einer Leiterplatte (10) und einem optischen Bauteil (54, 56, 58), wobei die Leiterplatte (10) mit mindestens einem elektro-optischen Bauteil (16), mindestens einer Leiterbahn (24) für den Anschluß des elektro-optischen Bauteils (16) sowie einer dreidimensionalen, mikrostrukturierten Justiergestaltung (12) versehen ist, relativ zu der das elektro-optische Bauteil (16) präzise angeordnet ist, und wobei eine dreidimensionale Positioniergestaltung (52) an dem optischen Bauteil (54, 56, 58) vorgesehen ist, die mit der Justiergestaltung (12) der Leiterplatte (10) derart zusammenwirkt, daß das optische Bauteil (54, 56, 58) mit dem elektro-optischen Bauteil (16) der Leiterplatte (10) präzise gekoppelt ist.
2. Baugruppe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterplatte (10) ein Spritzgußteil ist, das partiell mit einer Metallisierung versehen ist.
3. Baugruppe nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Justiergestaltung aus einem erhaltenen Justierkreuz (12) besteht.
4. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das elektro-optische Bauteil (16) in einer mikrostrukturierten Vertiefung (14) in der Leiterplatte (10) aufgenommen ist.
5. Baugruppe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß am Boden der Vertiefung (14) ein Kühlkörper (26) angeordnet ist.
6. Baugruppe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Kühlkörper (26) elektrisch leitend ist und mit dem elektro-optischen Bauteil (16) in elektrisch leitender Verbindung steht, so daß er als Anschluß für das elektro-optische Bauteil (16) dient.
7. Baugruppe nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß eine Preßpassung zwischen dem elektro-optischen Bauteil (16) und der Vertiefung (14) der Leiterplatte vorliegt.
8. Baugruppe nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das elektro-optische Bauteil (16) eine rechteckige Grundfläche hat und die Vertiefung durch eine kreisförmige Aufnahmefräsböhrung (14') gebildet ist, deren Abmessungen kleiner sind als die Diagonalen der Grundfläche, und daß vier Justierbohrungen (14'') vorgesehen sind, die den Ecken des elektro-optischen Bauteils (16) zugeordnet sind und deren Schnittkanten mit der Wandung der Aufnahmefräsböhrung zur präzisen Ausrichtung des elektro-optischen Bauteils (16) dienen.

DE 198 51 265 A 1

11

9. Baugruppe nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das elektro-optische Bauteil (16) ein Licht ohne Vorzugsrichtung senkrecht zur Oberfläche abgebendes Bauteil ist und die Wandung der Vertiefung einen Parabolreflektor (32) bildet, der das abgegebene Licht zum optischen Bauteil (54, 56, 58) hin bländelt. 5
10. Baugruppe nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Bauteil eine Lichtleitfaser (58) ist, deren Außenkontur die Positioniergestaltung (52) bildet, und daß die mit der Positioniergestaltung (52) zusammenwirkende Justiergestaltung (12) der Leiterplatte (10) durch eine Führungsnot (12) für die Lichtleitfaser (58) gebildet ist, in der diese aufgenommen ist. 10
11. Baugruppe nach einem Ansprache 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das optischen Bauteil (54, 56) an einem Substrat (50) angeordnet ist, an dem die Positioniergestaltung (52) ausgebildet ist, die mikrostrukturiert ist. 15
12. Baugruppe nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Bauteil des Substrats (50) ein Wellenleiter (56) ist. 20
13. Baugruppe nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Bauteil des Substrats (50) ein Spiegel (54) ist. 25
14. Baugruppe nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Spiegel ein Hohlspiegel (54) ist. 30
15. Verfahren zum Herstellen einer Baugruppe aus einer Leiterplatte (10), an der mindestens ein elektro-optisches Bauteil (16) angeordnet ist, und einem optischen Bauteil (54, 56, 58), das mit dem elektro-optischen Bauteil (16) gekoppelt ist, enthaltend die folgenden Schritte: 35
 - es wird ein Leiterplatten-Rohling (10') bereitgestellt, wobei eine Vertiefung (14) zur Aufnahme des elektro-optischen Bauteils (16) und eine dreidimensionale, mikrostrukturierte Justiergestaltung (12) ausgebildet werden;
 - der Leiterplatten-Rohling (10') wird fertiggestellt, indem er partiell metallisiert wird, so daß eine Leiterbahn (24) gebildet ist; 40
 - das elektro-optische Bauteil (16) wird in der Vertiefung (14) angeordnet und an die Leiterbahn (24) angeschlossen;
 - es wird separat von der Leiterplatte (10) ein optisches Bauteil (54, 56, 58) bereitgestellt, an dem eine dreidimensionale Positioniergestaltung (52) vorgesehen ist; 45
 - die Leiterplatte (10) und das optische Bauteil (54, 56, 58) werden zusammengefügt, wobei die Justier- und die Positioniergestaltung (12, 52) ineinander eingreifen und zu einer präzisen Ausrichtung von Leiterplatte (10) und optischem Bauteil (54, 56, 58) relativ zueinander führen; 50
 - die Leiterplatte (10) und das optische Bauteil (54, 56, 58) werden aneinander befestigt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiterplatten-Rohling (10') spritzgesogen wird, wobei die Vertiefung (14) zur Aufnahme des elektro-optischen Bauteils (16) und die dreidimensionale Justiergestaltung (12) abgeformt werden. 55
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 und 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterplatte (10) zum Anordnen des elektro-optischen Bauteils (16) in der Vertiefung erwärmt wird. 60
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 und 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterplatte (10) zum

12

- Anordnen des elektro-optischen Bauteils (16) in der Vertiefung (14) derart gebogen wird, daß sich die Vertiefung (14) nach außen erweitert.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterplatte (10) und das optische Bauteil (58) unmittelbar miteinander verklebt werden.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Bauteil (54, 56) an einem Substrat (50) angebracht ist, an dem die Positioniergestaltung (52) ausgebildet wird und das mit der Leiterplatte (10) verbunden wird.
21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (50) und die Leiterplatte (10) miteinander verklebt werden.
22. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (50) und die Leiterplatte (10) miteinander verlötet werden.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß das elektro-optische Bau- teil (16) der Leiterplatte (10) vor dem Verbinden von Leiterplatte (10) und optischem Bauteil (54, 56, 58) auf seine korrekte Funktion getestet wird.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Bauteil (54, 56, 58) vor dem Verbinden von Leiterplatte (10) und optischem Bauteil (54, 56, 58) auf seine korrekte Funktion getestet wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

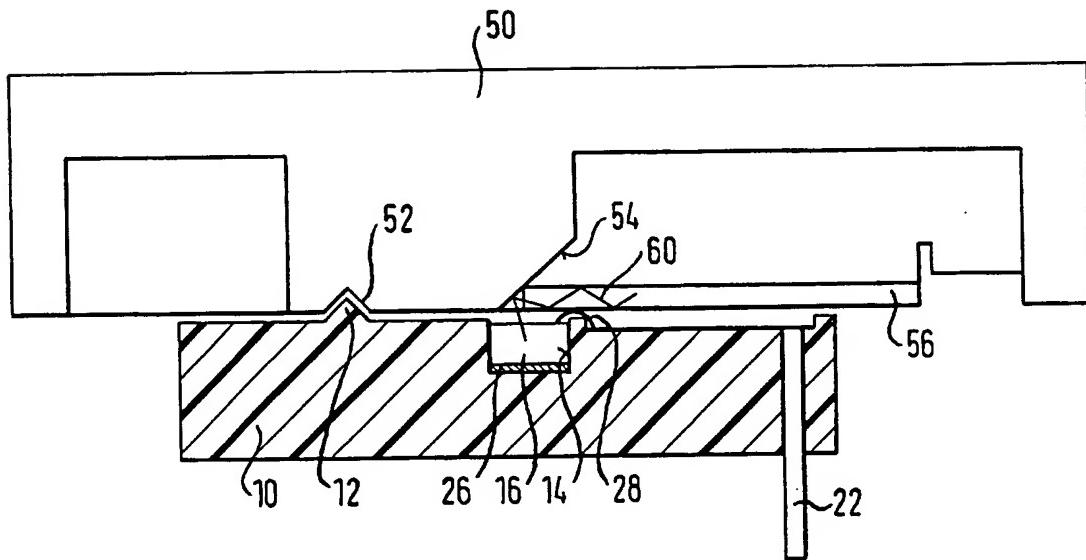


Fig. 2

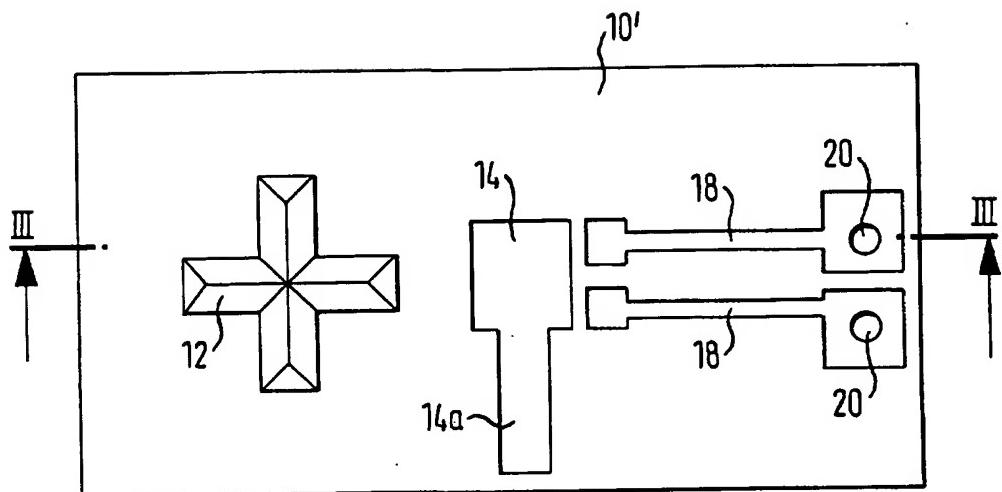


Fig. 3

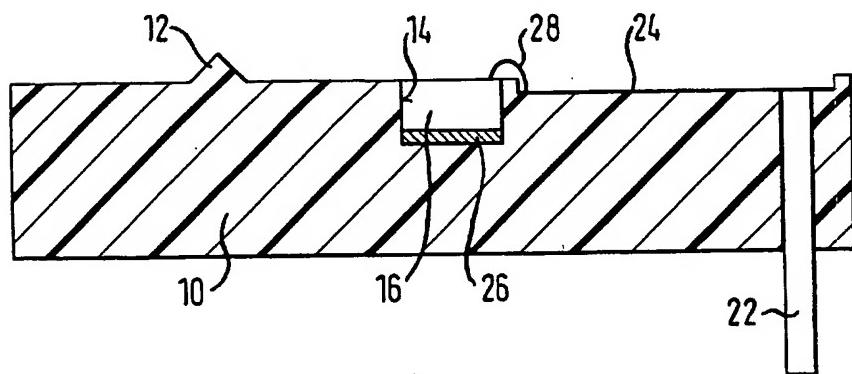


Fig. 4

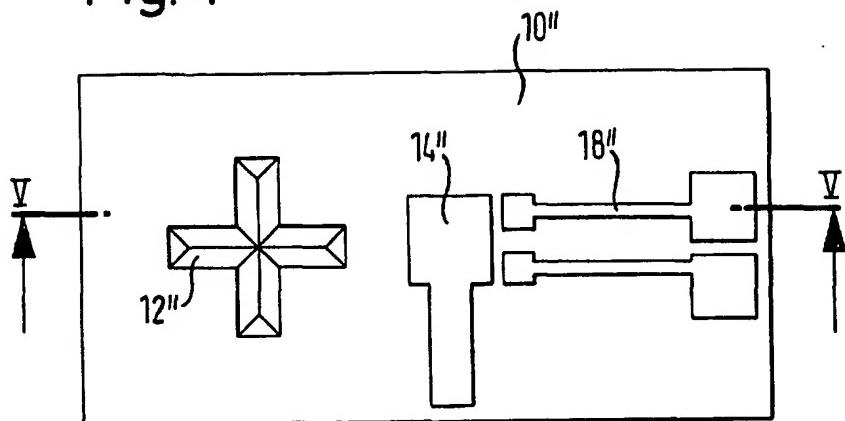


Fig. 5

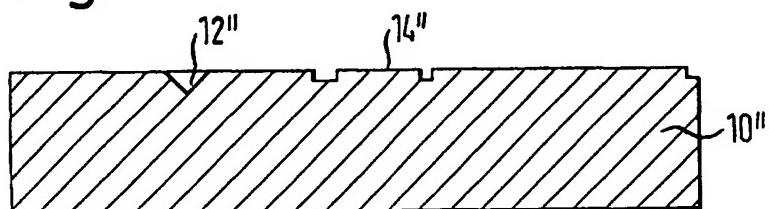


Fig. 6

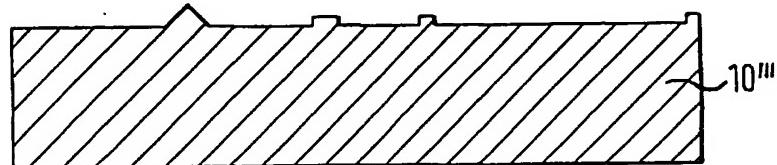


Fig. 7

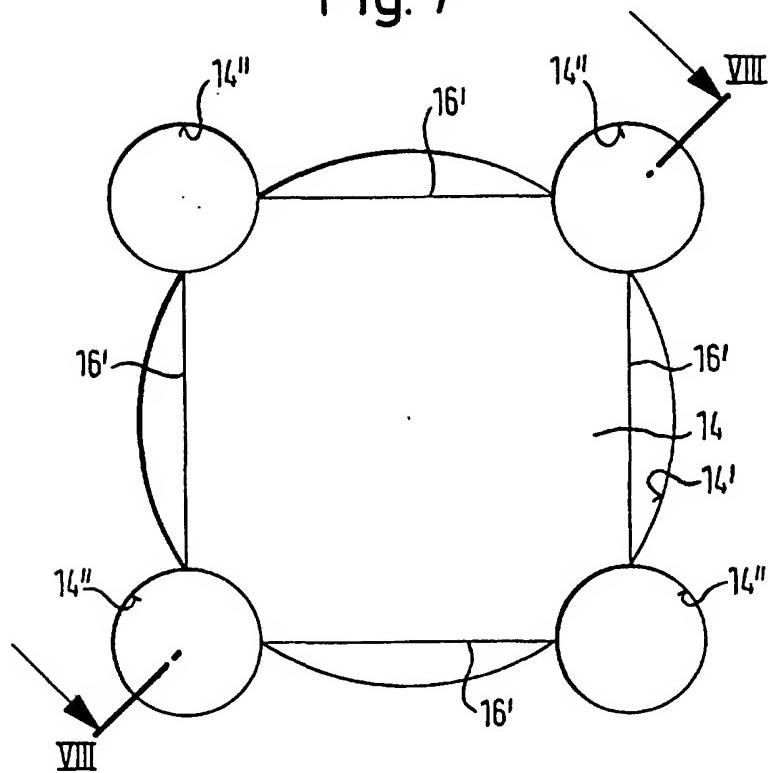


Fig. 8

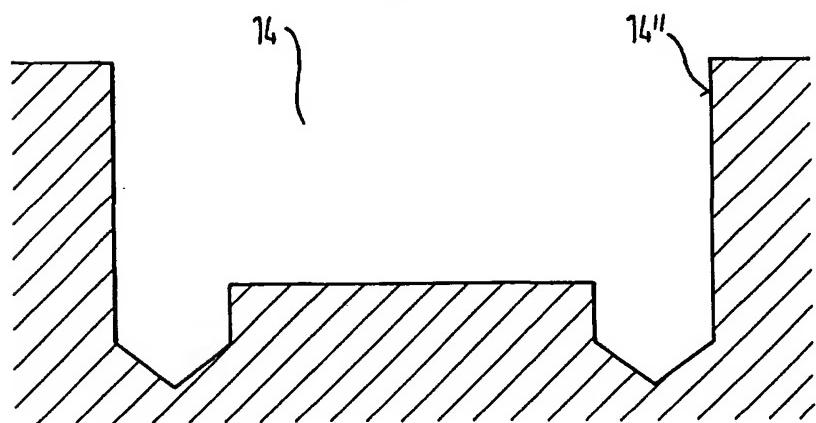


Fig. 9

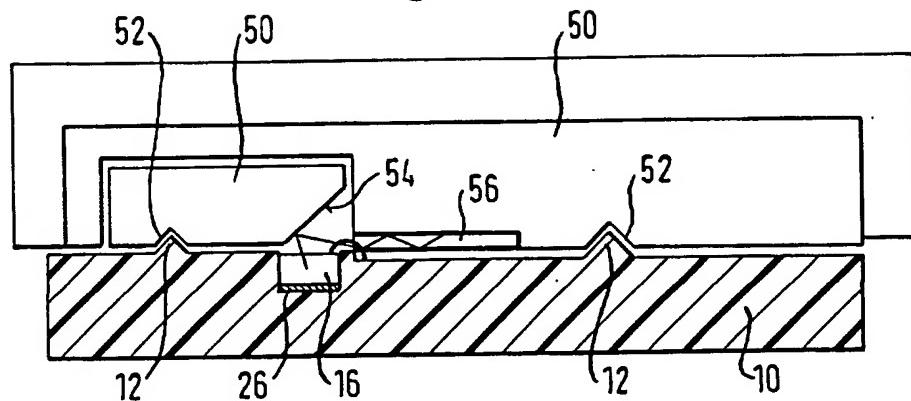


Fig. 10

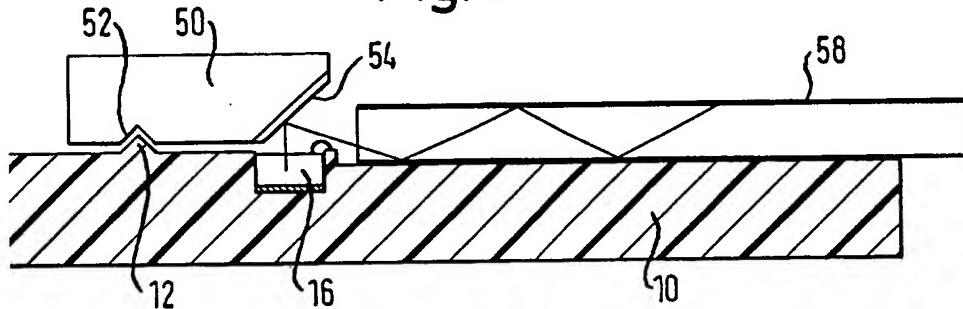


Fig. 11

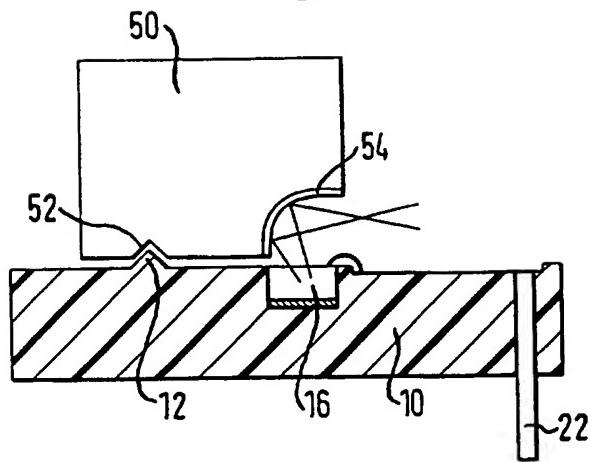


Fig. 12

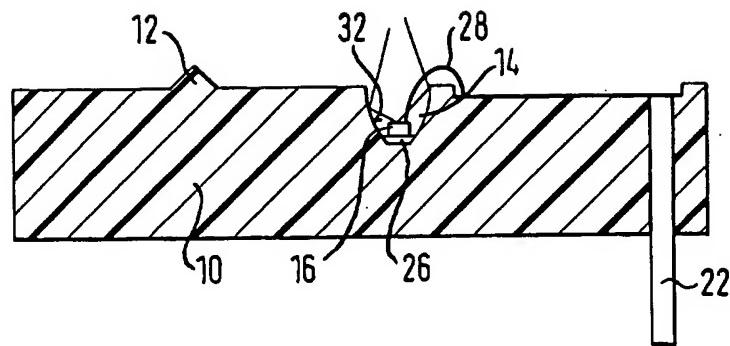


Fig. 13a

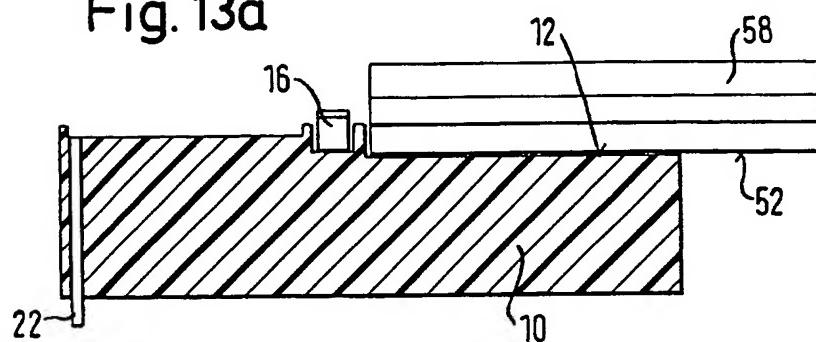


Fig. 13b

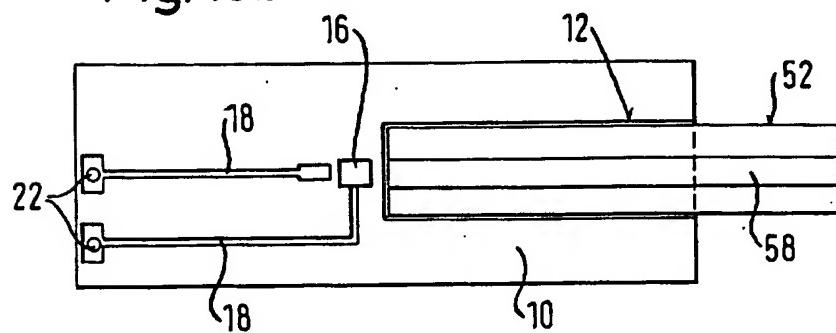


Fig. 14

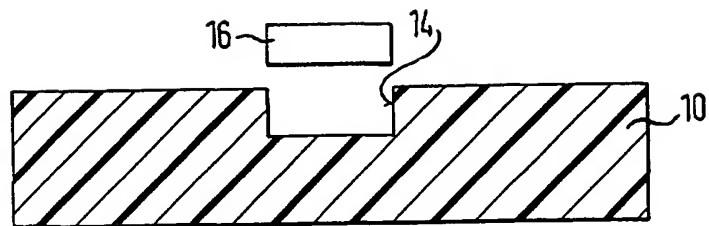


Fig. 15

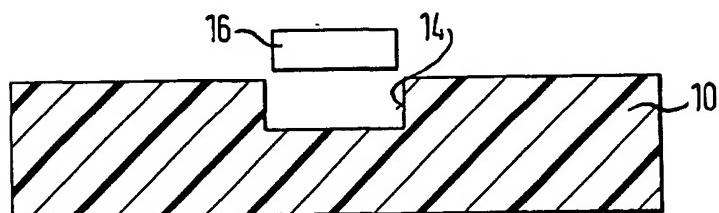


Fig. 16

